# Messungen der leichten Ionen in Potsdam.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt von der

Philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Berlin

von

Günter Schultz

Berlin-Schöneberg.

Tag der mündlichen Prüfung: 14. Febr. 1935.

Tag der Promotion: 10. Mai 1935.

1935

Dissertationsdruckerei und Verlag Konrad Triltsch, Würzburg

93

Referenten: *Prof. Dr. Kähler.*
*Prof. Dr. von Ficker.*

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

# Gliederung.


Seite

Einleitung . . . . . 1

I. Meßgerät und Aufstellung . . . . . 2
1. Beschreibung des Kondensators . . . . . 2
2. Meßort und Aufstellung des Meßgerätes . . . . . 3

II. Untersuchungen am Meßgerät . . . . . 5
1. Beseitigung der Randstörungen am Kondensator . . . . . 5
2. Bestimmung des Anteils mittlerer und schwerer Ionen bei der Messung der leichten . . . . . 7
3. Wirbelbildung im Kondensator . . . . . 11
4. Messungen im Beweglichkeitsbereich 0,1 bis 1,4 cm/sec.: Volt/cm . . . . . 14

III. Meßergebnisse in Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren 16
1. Allgemeines . . . . . 16
2. Ergebnisse der Werte an ungestörten Tagen . . . . . 17
3. Ergebnisse der Werte an gestörten Tagen . . . . . 20
a) Wolkeneinfluß . . . . . 20
b) Nebel und Dunst . . . . . 24
c) Blütenstaub . . . . . 26

Zusammenfassung . . . . . 28

# Einleitung.

Die Meßmethode der leichten Ionen hat seit ihren Anfängen mit dem ersten Ebertschen Ionenzähler in wagerechter Ausführung [1]) in Verbindung mit einem Exnerschen Elektroskop erhebliche Verbesserungen erfahren. Schon Ebert brachte durch die spätere senkrechte Anordnung und das empfindlichere Wulf - Zweifadenelektrometer einen Fortschritt. Dennoch blieben auch hier die größten Fehlerquellen, die Influenzwirkung, die zu niedrige Grenzbeweglichkeit der Ionen und die lange Meßzeit, bestehen. Swann [2]) hat als erster beim Ebertschen Ionenzähler die Entlademethode durch die Auflademethode ersetzt und für die Messung ein empfindliches Einfadenelektrometer verwendet. Kähler und Scholz [3]) gelang es, einen Kondensator für das Leitvermögen und die leichten Ionen mit homogenen Kraftfeldern zu bauen. Der Nachteil der Apparatur bestand in der zu großen Entfernung der Eintrittsstelle der Luft bis zum Beginn des Meßsystems. Außerdem war die Anordnung an einen Meßort gebunden. Mit dem Bau von leicht transportablen, genauen und empfindlichen Meßapparaten für leichte Ionen wurde ungefähr gleichzeitig in Washington, Innsbruck und Potsdam begonnen. Gish [4]) und Graziadei [5]) brachten verbesserte Formen des alten Swannschen Ionenzählers. Der Potsdamer Kondensator zeigt neben Verbesserungen an der gesamten Apparatur auch eine vorbildliche Aufstellung. Dadurch wurden wesentlich andere Ergebnisse erzielt, als bisher zu erhalten möglich war. Der Zweck der Arbeit bestand nun darin, durch Untersuchungen an diesem Kondensator die Meßmethode physikalisch weiter zu vervollkommenen und etwa auftretende Fehlerquellen durch experimentell und rechnerisch bestimmte Korrektionen zu beseitigen. Ferner wurden über ein Jahr sich hinziehende, tägliche Messungen, wie auch Dauermessungen ausgeführt und mit meteorologischen Faktoren in Beziehung gebracht.

---

[1]) H. Ebert, Physik. Zs. *2*, 662, 1901.
[2]) W. G. F. Swann, Terr. Magn. *19*, 171, 1914.
[3]) J. Scholz, Physik. Zs. *32*, 130, 1931.
[4]) O. H. Gish, Gerlands Beitr. z. Geophys. *35*, 1, 1932.
[5]) H. Graziadei, Physik. Zs. *34*, 82, 1933.

# I. Meßgerät und Aufstellung.

## *1. Beschreibung des Kondensators.*

Die Messungen wurden mit einem bei dem Potsdamer Mechaniker Pridat gebauten Kondensator ausgeführt. Abbildung 1 stellt einen Schnitt durch den Apparat dar. Der eigentliche Kondensator, der aus

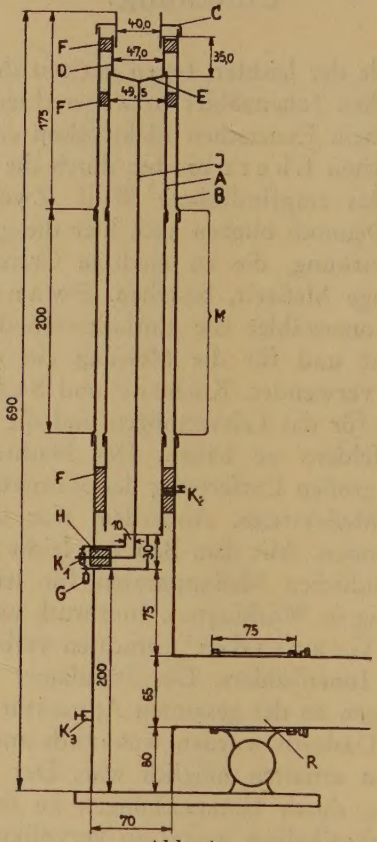


Abb. 1.

einer 400 mm langen Außenelektrode A mit 49,5 mm Durchmesser und einer 422 mm langen und 2,8 mm dicken Innenelektrode I besteht, ist von einem 690 mm langen geerdeten Schutzrohr B mit 70 mm Durchmesser umgeben. Im oberen Teil des Kondensators ist eine Schutzvorrichtung nach S w a n n (l. c. Seite 1) eingebaut; sie setzt sich zusammen aus drei Streben E, die die Innenelektrode mit dem kleinen Schutzzylinder D mit 47,0 mm Durchmesser und 35 mm Höhe verbinden, und dem geerdeten Eintrittsrohr mit 40 mm lichter Weite, das von der Schutzkappe C gehalten wird. Hartgummiringe F

isolieren und stützen die einzelnen Teile. Durch ein geerdetes Kniestück wird die Innenelektrode am unteren Ende, geschützt durch den Hauptisolator H, zur Klemme $K_1$ geführt, welche die Verbindung mit dem Elektrometer herstellt. Zur Messung ist ein Wulf-Einfadenelektrometer mit ± 100 Volt Schneidenspannung benutzt worden. Die Empfindlichkeit des Elektrometers betrug im Durchschnitt 80 bis 100 Skalenteile pro Volt. Sie wurde vor und nach jeder Messung, sowie in geeigneten Meßpausen mittels Potentiometerschaltung bestimmt. Sämtliche Messungen wurden nach der sogenannten Auflademethode ausgeführt. Durch die Klemme $K_2$ wird an die Außenelektrode eine konstante Spannung gelegt, während die Innenelektrode und das damit verbundene Elektrometer durch den Erdschlüssel G geerdet ist. Kurz vor Beginn einer Messung wird die Erdung aufgehoben, und das Elektrometer zeigt die vom Innensystem aufgenommene Ladung der durch den Kondensator geströmten Luft an, aus der dann die Ionenzahl berechnet wird. Trotz der großen Empfindlichkeit des Elektrometers arbeitet der verhältnismäßig rohe Erdkontakt zur vollsten Zufriedenheit. Er besteht aus einem mit Bajonettverschluß versehenen, geerdeten Stift, der gegen ein Stück leicht federnden Messingdraht drückt. Die Klemme $K_3$ dient zur Erdung des Gehäuses. Nachdem die Luft den Kondensator durchströmt hat, wird sie vom Motor seitlich abgelenkt und passiert ein Fuess'sches Anemometer R. Zum Durchsaugen der Luft wird ein Motor von der AEG, Typ SU 2, verwendet. Es ist zweckmäßig, zwischen Anemometer und Motor eine Vorrichtung zur Aufnahme von Nebenluft einzubauen. Schließlich ist noch hervorzuheben, daß der Kondensator durch Herausnehmen eines 200 mm langen Mittelstükkes M zu verkürzen ist. Dadurch ist es möglich abwechselnd unter 3 verschiedenen Bedingungen zu messen. Ich bezeichne im folgenden mit Kondensator I den ganzen Kondensator mit der 422 mm langen Innenelektrode und einer Kapazität von 52,1 cm mit Elektrometer und Zuführung. Unter Kondensator II verstehe ich den um das Mittelstück M verkürzten Kondensator. Seine Innenelektrode ist 230 mm lang, die Kapazität beträgt 47,9 cm. Mit Kondensator III bezeichne ich den, um das 175 mm lange Oberstück, in das die Swannsche Schutzvorrichtung eingebaut ist, verkürzten Kondensator. Die Länge der Innenelektrode beträgt hier 315 mm, die Kapazität des Systems 20,9 cm.

### *2. Meßort und Aufstellung des Meßgerätes.*

Das luftelektrische Laboratorium des Observatoriums Potsdam liegt in einer Lichtung am Westabhang des Telegraphenberges. Über das Dach des Laboratoriums ist ein großes Drahtnetz gespannt, um

den durch die reiche Gliederung [6]) des Geländes verursachten, gestörten Verlauf der Niveauflächen möglichst einzuebnen. In der Nordwestecke des Netzes ist eine etwa 4 m² große Fläche durch 4 Holzpfosten genau eingeebnet und mit geschwärztem Aluminiumblech belegt. Die Höhe beträgt ungefähr 2,5 m. Wie Abbildung 2 zeigt, befindet sich darunter ein auf drei Füßen ruhender, 1,80 m hoher Meßtisch. Dieser Tisch nimmt das gesamte Meßgerät auf. In der Mitte

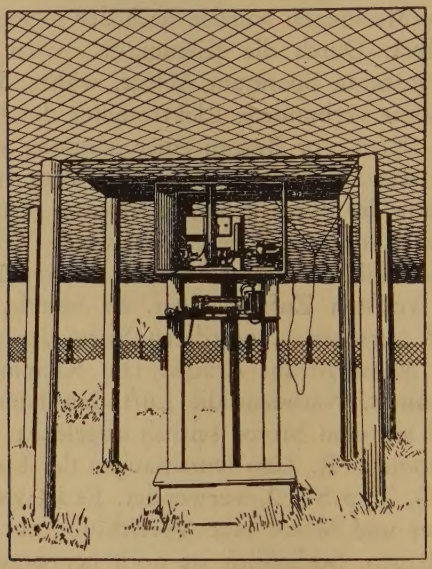

Abb. 2.

steht der Kondensator, der durch einen runden Ausschnitt das Aluminiumblech um 1 bis 2 cm überragt. Der Zweck des Bleches besteht darin, den unter dem Netz durch Konvektion emporsteigenden Ionen den Eintritt in den Kondensator zu verhindern. Links vom Kondensator steht das Wulf-Einfadenelektrometer, das nach Süden durch eine geschwärzte Pappwand vor Sonnenstrahlen geschützt ist. Dieser Sonnenschutz ist erforderlich, um große Nullpunktswanderungen zu vermeiden. In den warmen Mittagsstunden waren Empfindlichkeitsschwankungen von 5 bis 8 Skalenteilen bei 80 bis 100 Skalenteilen pro Volt keine Seltenheiten. Bei dieser Empfindlichkeit betrug die Zeit für eine Einzelmessung 30 oder 60 Sekunden. Hinter dem Kondensator steht eine Kiste, aus der die Hilfsspannung für das Elektrometer sowie die Spannung der Außenelektrode entnommen werden. Es hat sich gezeigt, daß das Verpacken der Anodenbatterien

[6]) Näheres hierüber bei H. Grieger, Bericht über die Tätigkeit des Preuß. Met. Inst. i. J. 1933, S. 109.

mit paraffiniertem Papier und Holzwolle in Kisten sie weitgehend vor Temperaturschwankungen schützt und somit ihre Lebensdauer wesentlich erhöht. Rechts auf dem Tisch ist der Motor zu sehen, der durch ein Gummistück mit dem Kondensator verbunden ist. Auf der darunter befindlichen kleinen Tischplatte befindet sich die Potentiometeranordnung für die Empfindlichkeitsbestimmung des Elektrometers, bestehend aus Akkumulator, Widerstand und Mavometer. Außerdem ist auf der Platte ein zweiter Widerstand angebracht, der zur Regulierung der Durchsauggeschwindigkeit des Motors dient.

Für Versuche an der Apparatur bei denen konstante Ionenverhältnisse erwünscht sind, wurde das gesamte Meßgerät im großen Zimmer des Laboratoriums auf einem 60 cm hohen Tisch aufgebaut.

Im allgemeinen war die Zusammenstellung des Meßgerätes zufriedenstellend, während die Aufstellung im Niveau der Erde als sehr günstig anzusehen ist. Isolationsschwierigkeiten traten wenig ein, eine Folge der geschützten Lage der Isolatoren im Kondensator. Sehr störend bei den Messungen machten sich Fremdkörper im oberen Kondensatorteil oder an der Innenelektrode bemerkbar. Äußerst große Ausschläge des Elektrometerfadens oder gänzliches Verschwinden desselben deuteten stets auf Spinnen, Ameisen oder ähnliches hin. Die Messung mußte dann unterbrochen werden, um den Kondensator vollständig zu säubern. Eine weitere Schwierigkeit ergab sich bei stark böigem Wetter. Jede Windböe, die über den Meßplatz strich, bewirkte einen Sog im Kondensator, wodurch die Durchsauggeschwindigkeit erheblich vermindert wurde. Die danach folgende Ruhe in der Luftbewegung ließ ein weit größeres Luftvolumen durch den Kondensator ziehen. Diese Schwankungen der Durchsauggeschwindigkeit, die ein dauerndes Variieren der verlangten Ionenbeweglichkeit zur Folge hatten, verursachten Schwankungen in der Ionenzahl bis zu 20%. Um den Einfluß dieser beträchtlichen Fehlerquelle auszuschalten, mußte bei den Außenmessungen die Durchsauggeschwindigkeit während jeder Messung am Anemometer überwacht werden. Durch Vergrößern oder Verkleinern des Motorwiderstandes gelang es, die verlangte Grenzbeweglichkeit beizubehalten.

## II. Untersuchungen am Meßgerät.

### *1. Beseitigung der Randstörungen am Kondensator.*

Bereits Swann (l. c. Seite 1) hat gefunden, daß beim Arbeiten mit der Auflademethode zur Messung von Ionen starke Störungen am Rande des Kondensators auftreten. Diese Randstörungen ent-

stehen durch das Kraftfeld, das sich an der Eintrittsstelle der Luft in den Kondensator von der mit Spannung belegten Außenelektrode zur geerdeten Innenelektrode bildet. Sie wirken sich derart aus, daß ein großer Teil von Ionen infolge dieses mit „Gegenfeld" bezeichneten Kraftfeldes bei der Messung in den Kondensator nicht hinein gelangt. Die so erhaltenen Ionenwerte müßten demnach geringer sein, als die wirklich vorhandenen. Gleichzeitig hat S w a n n angegeben, wie diese Randstörungen durch Einbau einer von ihm eingeführten Schutzvorrichtung in den oberen Teil des Kondensators beseitigt werden, und dadurch die zur Ionenmessung günstige Aufladem ethode ihres Hauptfehlers enthoben wird. Wie aus den Versuchen von G r a z i a d e i (l. c. Seite 1) hervorgeht, ist die Aufladem ethode hierdurch der Entladem ethode völlig gleichwertig geworden. Da in dem von mir benutzten Kondensator eine derartige Schutzvorrichtung eingebaut war und der Kondensator außerdem nach I. 1. abwechselnd in einen Kondensator mit Schutzvorrichtung (Kond. II) und einen Kondensator ohne Schutzvorrichtung (Kond. III) zerlegt werden konnte, war es möglich, diesen Gegenfeldeffekt experimentell zu beobachten. Um einigermaßen konstante Ionenverhältnisse zu haben, wurden diese Messungen im Nordzimmer des luftelektrischen Hauses ausgeführt. Spannung und Durchsauggeschwindigkeit waren für beide Kondensatoren so gewählt, daß die zur Messung gelangenden Ionen die Beweglichkeitsgrenze k = 1 cm/sec : Volt/cm hatten. Die Werte in Tabelle 1 sind die Mittel aus je 5 Messungen abwechselnd mit den Kondensatoren II und III erhalten. Es ist aus den Werten eindeutig zu ersehen, daß im Kondensator III ein starkes Gegenfeld, hervorgerufen durch 100 Volt Spannung an der Außenelektrode bis 68 % Ionen am Eintritt in den Kondensator verhindert.

Tabelle 1.

| Kond. II | Kond. III | Überschuß von K. II in % |
|---|---|---|
| 101 | 76 | 33 |
| 126 | 75 | 68 |
| 142 | 99 | 43 |
| 151 | 104 | 45 |
| 251 | 189 | 29 |
| 259 | 201 | 33 |
| | Mittel: | 42 % |

Ein zweites gleichartiges Kraftfeld bildet sich am entgegengesetzten Ende des Kondensators. Aus der Lage dieser Störungszone, die außerhalb des Luftbereiches der zur Messung kommenden Ionen liegt, ergibt sich mit großer Wahrscheinlichkeit, daß die Feldinhomogenität

an dieser Stelle auf die Ionenzahlen keinen Einfluß hat. Experimentell die Wirkung des Kraftfeldes zu untersuchen war technisch nicht möglich. Immerhin wäre zu empfehlen, bei einem späteren Bau eines Meßkondensators nach Möglichkeit auf eindeutige Definition auch dieses Kraftfeldes zu achten. Die bereits von Kähler[7]) und Scholz (l. c. Seite 1) angegebene Anordnung über die seitliche Ausführung der Innenelektrode zum Elektrometer unter Beachtung der Feldverhältnisse, würde die wirksame Länge der Innenelektrode weit besser definieren, als meine Anordnung. Will man aber außerdem unkontrollierbare Fehler umgehen, die durch das Stauchen der durchgeströmten Luft im offenen Kniestück entstehen, so wäre auf die ursprüngliche von Becker[8]) angegebene Ausführung zurückzugehen. Danach müßte die Innenelektrode isoliert durch Bernstein, mittels eines Kniestückes von möglichst kleinem Durchmesser zum Elektrometer geführt werden.

### *2. Bestimmung des Anteils von mittleren und schweren Ionen bei der Messung der leichten.*

Die Bahn des Ions im Zylinderkondensator ist eine Parabel, deren Achse mit der inneren Achse des Kondensators zusammenfällt. Will man alle Ionen des eingesaugten Luftvolumens im Kondensator abfangen, dann gilt bei Sättigungsstrom für den Grenzfall, daß das am äußersten Rande des Kondensators eintretende Ion die innere Achse, in diesem Falle die Innenelektrode, gerade noch erreicht, die Gleichung

$$\frac{V}{G} \geqq \frac{R^2 - r^2}{2 \cdot l \cdot k} \cdot \ln \frac{R}{r}$$

in der

V = Spannung
G = Durchgesaugte Luftmenge in cm/sec.
R = Radius der Außenelektrode
r = Radius der Innenelektrode
l = Länge der Innenelektrode
k = Grenzbeweglichkeit der Ionen ist.

Aus den Apparatdimensionen und den beiden veränderlichen Größen V und G kann man die Grenzbeweglichkeit so wählen, wie es der Zweck der Messung erfordert. Unter der Grenzbeweglichkeit $k_g$ versteht man diejenige Beweglichkeit, bei der alle Ionen von der Beweglichkeit $k \geqq k_g$ im Kondensator abgefangen werden. Hierzu tritt noch ein Teil der Ionen mit der Beweglichkeit $k_0 < k_g$. Im

[7]) K. Kähler, Met. Zs. 47, 57, 1930.
[8]) A. Becker, Zs. f. Instrumentenkunde, 29, 259, 1909.

Folgenden soll versucht werden, diesen Anteil mittel- und schwerbeweglicher Ionen bei der Messung der leichten bei dem von mir benutzten Kondensator in Prozenten vom Gesamtwert n anzugeben. Dieser prozentuale Anteil ist eine Summe aus Produkten, von denen jedes aus zwei Faktoren zusammengesetzt ist. Der eine Faktor ist eine Apparatkonstante, zu der man durch folgende Überlegung gelangt.

Denkt man sich den Zylinderkondensator mit der festen Spannung V an der Außenelektrode, der gleichbleibenden Durchsauggeschwindigkeit G, mit festem Radius r und gleicher Länge l theoretisch zergliedert in sich überschneidende Kondensatoren mit immer kleiner werdendem R und den entsprechend wirkenden Spannungen, die aus dem V und R des Versuchskondensators hervorgehen, so kann man für jeden dieser Zylinderkondensatoren die Grenzbeweglichkeit berechnen, bis zu der herab die Ionen restlos abgefangen werden. Wie oben angeführt, beschreibt ein Elektrizitätsträger, der am äußersten Rande des Kondensators eintritt und gerade noch die Innenelektrode erreicht, völlig laminare Strömung vorausgesetzt, eine Parabel, deren Achse die Innenelektrode ist. Läßt man nun diese Parabel um die Achse rotieren, so erhält man ein Paraboloid, dessen Höhe die Achse und dessen Querschnitt $R^2 \cdot \pi$ ist. Das Volumen dieses Körpers, gegeben durch $V_1 = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot h}{2}$, gibt mir das Luftvolumen an, aus dem sämtliche Ionen der geforderten Grenzbeweglichkeit $k \geqq k_{\bar{g}}$ restlos abgefangen werden. Unterhalb dieses Paraboloids, in der Abbildung 3 durch Schraffierung angedeutet, gibt es

Abb. 3.

dann keine Ionen mit der Beweglichkeit $k \geqq k_g$ mehr, und alle anderen mit der Beweglichkeitsgrenze $k_0 < k_g$ können hier nicht mehr wirksam sein. Läßt man nun ferner, bei einem der gedachten Zylinderkondensatoren mit der berechneten Grenzbeweglichkeit $k_1$ in der gleichen Weise die Bahn eines am äußersten Rande eingetretenen Ions, um die Innenelektrode rotieren, so bekommt man ein zweites Paraboloid, dessen Volumen $V_2$ man gleichfalls berechnen kann. In diesem zweiten Paraboloid werden restlos alle Ionen mit der Grenzbeweglichkeit $k \geqq k_1$ abgefangen. Somit also auch ein Teil der Ionen,

die bereits im ersten Paraboloid restlos zur Ablagerung kamen. Außerdem aber noch ein Teil von noch schwereren Ionen mit der Beweglichkeit $k < k_1$. Diese Paraboloidvolumen bilden die konstanten Rechenfaktoren. Die weitere Bildung solcher konstanten Faktoren aus den Volumina der Paraboloide des Versuchskondensators und eines anderen gedachten, hängt ab einmal von der angeführten Rechnung, aus der die Wirksamkeit von Ionen kleinster Beweglichkeit bei der Messung hervorging, und außerdem von den zur Benutzung stehenden, mit anderen Apparaten etwa zur gleichen Zeit gemessenen Ionenzahlen niederer Beweglichkeit. Praktisch wären dies die Werte von mittleren und schweren Ionen. Da nun die Ionenbilanz lehrt, daß die Atmosphäre in der Zusammensetzung der Ionengruppen großen Schwankungen unterworfen ist, daß z. B. bei kleinen Werten von leichten Ionen große Werte von schweren vorhanden sind, bei dazwischen liegenden mittleren und umgekehrt, so ist leicht einzusehen, daß der Anteil mittlerer und schwerer Ionen bei der Messung der leichten veränderlich ist. Hiernach ergibt sich also der Fehler als Summe aus zwei Produkten, nämlich Volumen des Paraboloids für mittlere Ionen, multipliziert mit der Ionenzahl pro $cm^3$ + Volumen des Paraboloids für schwere Ionen, multipliziert mit der Ionenzahl pro $cm^3$. Aus dieser Summe und dem Produkt aus dem Volumen des Paraboloids für leichte Ionen und deren gemessener Zahl, ergibt sich der prozentuale Anteil von Ionen mit einer Beweglichkeit $k_o < k_g$.

In Potsdam stehen die erforderlichen Werte für die Zeit vom 1. August 1932 bis 31. August 1933 zur Verfügung [9]). Es wurden mit dem oben beschriebenen Apparat leichte Ionen mit der Beweglichkeit $k \geqq 1$ cm/sec : Volt/cm gemessen, mit einem zweiten Kondensator (l. c. Seite 7) Ionen mit der Beweglichkeit $k \geqq 0{,}02$ cm/sec : Volt/cm und mit dem Scholzschen Kernzähler die Schwerionen mit der Beweglichkeit $k \geqq 0{,}0005$ cm/sec : Volt/cm. Die letzteren als halbe Differenz aus der Gesamtzahl der geladenen und ungeladenen Kerne, wobei $N_+/N_- = 1$ gesetzt ist. In der Tabelle 2 ist die Rechnung für die drei Gruppen n, $\nu$ und N der positiven Ionenwerte durchgeführt. Das $\nu$ der mittleren Ionen ist verringert um den Wert n der leichten, die in der Grenzbeweglichkeit $k \geqq 0{,}02$ cm/sec : Volt/cm mit abgefangen werden, während der N Wert der schweren Ionen aus der Messung übernommen ist, in der Annahme, daß wirklich keine leichten und mittleren Ionen beim Zählen der Kerne gesehen werden. Die Spalten $V_I \cdot n$, $V_{II} \cdot \nu$ und $V_{III} \cdot N$ geben die Anzahl der leichten, mittleren und schweren Ionen, bezogen jeweils auf das entspre-

---

[9]) Herr Prof. Kähler überließ mir für die Durchrechnung der Beispiele das Material.

chende Paraboloidvolumen. Aus der letzten Spalte ersieht man das Verhältnis von

$$\frac{V_{II} \cdot \nu + V_{III} \cdot N}{V_I \cdot n} \cdot 100 \text{ in } \%.$$

Tabelle 2.

| Datum | $n_+$ | $\nu_+$ | $N_+$ | $V_I \cdot n_+$ | $V_{II} \cdot \nu_+$ | $V_{III} \cdot N_+$ | $\frac{V_{II} \cdot \nu_+ + V_{III} \cdot N_+}{V_I \cdot n_+} \cdot 100$ in % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamtmittel*) | 174 | 579 | 4875 | 71 584 | 753 | 3900 | 6,5 % |
| Monatsmittel Nov. 1932 | 137 | 469 | 5570 | 56 362 | 610 | 4456 | 9,0 „ |
| Monatsmittel April 1933 | 211 | 815 | 5555 | 86 805 | 1060 | 4444 | 6,3 „ |
| 24. August 1932 | 319 | 1041 | 4400 | 131 237 | 1353 | 3520 | 3,7 „ |
| 24. August nachmittag | 434 | 521 | 1650 | 178 548 | 677 | 1320 | 1,2 „ |
| 1. September 1932 | 217 | 387 | 630 | 89 274 | 503 | 504 | 1,3 „ |
| 17. November 1932 | 10 | 560 | 4950 | 4 114 | 728 | 3960 | 115,0 „ |
| 1. März 1933 | 152 | 818 | 3850 | 62 533 | 1063 | 3080 | 6,7 „ |
| 16. März 1933 | 119 | 816 | 8800 | 48 957 | 1060 | 7040 | 16,7 „ |
| 11. April 1933 | 248 | 312 | 3255 | 102 027 | 406 | 2604 | 3,0 „ |
| 28. April 1933 | 298 | 482 | 2200 | 122 697 | 627 | 1760 | 2,0 „ |

*) Das Gesamtmittel umfaßt alle Messungen aus der Zeit vom 1. August 1932 bis zum 31. August 1933.

Aus der Tabelle geht deutlich ein Schwanken des prozentualen Anteils mittlerer und schwerer Ionen bei der Messung der leichten hervor. Im Jahresmittel ergibt die Rechnung einen durchschnittlichen Fehler von 6,5 %. Die Werte aus den Monatsmitteln für November 1932 und April 1933 geben 9 und 6,3 %. Ganz eindeutige Ergebnisse zeigen die Zahlen der einzelnen Tage. Während im August, September und April, wo n die höchsten und N die niedrigsten Werte bei normalem, schönem Wetter erreicht, der prozentuale Anteil zwischen 1 und 4 % liegt, erreichen die Werte in den Wintermonaten mit kleinem n und großem N einen Anteil bis zu 17 %. Eine Sonderstellung nimmt der 17. November 1932 ein. An diesem Tage wurde bei nässendem Nebel 2 ein $n = 10$ und $N = 4950$ gefunden. Die Vermutung, daß diese 10 Ionen abgefangene mittlere und schwere sind, und bei nässendem Nebel 2 die leichten Ionen nach ihrem Entstehen gleich wieder verschwinden, bestätigt die Rechnung. Der Überschuß von 15 % kann wohl damit erklärt werden, daß kleine Ladungsmengen bei konstanter Empfindlichkeit naturgemäß mit größeren Fehlern behaftet sind als Messungen großer Ladungen. Schon ein $n = 11$ ergibt nur 104 % und bei $n = 12$ sind es unter 100 %.

Nicht berücksichtigt ist hierbei der Anteil mittlerer und schwerer Ionen, der bei meinem Kondensator von der Verlängerung der Innenelektrode durch die Swannsche Schutzvorrichtung gemessen

wird. Rechnerisch ist diese Fälschung nicht zu erfassen. Auch hier hängt die Größe der Fälschung von der jeweiligen Anzahl mittlerer und schwerer Ionen ab. Da in dem feldlosen oberen Teil die Ladung einer großen Anzahl Ionen infolge der Ladung von zur Ablagerung kommenden Ionen entgegengesetzten Vorzeichens ausgeglichen wird, ist der Fehler vermutlich zu vernachlässigen. Das Ergebnis der oben durchgeführten Rechnung bleibt also bestehen.

### *3. Wirbelbildung im Kondensator.*

Bei der Ionenmessung geht man meistens von der Annahme aus, daß die durchgesaugte Luft den Kondensator in Laminarbewegung durchströmt. Laminarbewegung oder Parallelströmung herrscht in einem zylindrischen Rohr solange, wie die Geschwindigkeit der Flüssigkeit dem Poiseuilleschen Gesetz genügt. Überschreitet die Geschwindigkeit den „kritischen" Wert oder die Reynoldssche Zahl, so geht die Laminarbewegung in eine Wirbel- oder Turbulenzbewegung über. Ruckes[10]) hat bei Versuchen gefunden, daß der kritische Wert Reynolds' auch bei strömender Luft durch Zylinderrohre maßgebend für den Beginn turbulenter Strömung ist. Ein Überschlag zeigt, daß bei meinen Ionenmessungen der kritische Wert überschritten ist, daß also im Kondensator Wirbelbildung einsetzt. Diese Wirbelbildung wird aber in diesem Fall noch verstärkt durch die zweimalige Erweiterung des Rohrquerschnittes an der Eintrittsstelle, die der Kondensator durch den Einbau der Swannschen Schutzvorrichtung erfahren hat, und außerdem durch die in die Srömung hineinragende Innenelektrode mit den drei Streben. Es ist zu vermuten, daß infolge dieser Wirbelbildung die Werte der Ionenmessung beeinträchtigt werden müssen. Obwohl schon Swann[11]) gezeigt hat, daß die Strömungsverteilung auf die Grenzbeweglichkeit und auch auf den Ionenstrom keinen Einfluß ausübt, hat Israel[12]) gefunden, daß die Turbulenz das gemessene Ionenspektrum fälscht. Nach Israels Messungen müssen mehr leichte Ionen verloren gehen als schwere. Experimentell ein ähnliches Ergebnis zu erzielen, war mit meinem Kondensator nicht möglich; ich mußte mich darauf beschränken, in der zuvor von Israel benutzten Weise durch Steigerung der Durchsauggeschwindigkeit und entsprechender Spannungserhöhung das Verhalten der Ionen zu untersuchen. Die Durchsauggeschwindigkeit läßt sich bei meiner Apparatur in der Weise ändern, daß ich die leichten Ionen mit Spannungen von 50, 100, 200 und

[10]) W. Ruckes, Annal. d. Phys. *25*, 983, 1908.
[11]) W. G. F. Swann, Terr. Magn. *19*, 205, 1914.
[12]) H. Israel, Gerlands Beitr. z. Geophys. *31*, 211, 1931.

300 Volt an der Außenelektrode messen kann. In den Tabellen 3, 4 und 5 sind Mittelwerte aus je 5 Messungen enthalten.

Tabelle 3.

| bei 100 Volt n = | bei 50 Volt n = | Überschuß bei 100 Volt in % |
|---|---|---|
| 190 | 168 | 13 |
| 192 | 171 | 12 |
| 182 | 170 | 7 |
| 185 | 168 | 10 |
| 188 | 165 | 14 |
| | Mittel: | 11 % |

Tabelle 4.

| bei 200 Volt n = | bei 100 Volt n = | Überschuß bei 200 Volt in % |
|---|---|---|
| 231 | 170 | 15 |
| 113 | 92 | 23 |
| 111 | 97 | 14 |
| 98 | 86 | 14 |
| 107 | 90 | 19 |
| | Mittel: | 17 % |

Tabelle 5.

| bei 300 Volt n = | bei 100 Volt n = | Überschuß bei 300 Volt in % |
|---|---|---|
| 130 | 99 | 31 |
| 132 | 104 | 27 |
| 126 | 96 | 31 |
| 125 | 103 | 21 |
| 130 | 104 | 25 |
| | Mittel: | 27 % |

Beim Vergleich der Werte, die mit 100 Volt und 50 Volt erhalten wurden, ergeben sich im Mittel 11 % mehr Ionen bei der größeren Geschwindigkeit. Bei 200 und 100 Volt macht der prozentuale Überschuß 17 % aus, und schließlich werden bei 300 Volt im Mittel 27 % mehr Ionen gemessen als bei 100 Volt. Daraus geht eindeutig hervor, daß mit steigender Durchsauggeschwindigkeit die Wirbelbildung im Kondensator wächst, wodurch eine Fälschung des vorhandenen Ionenspektrums eintritt. Es liegt nahe, diese großen Prozentzahlen der Fälschungen auf die innere Beschaffenheit des Kondensators zurückzuführen. Bei einem späteren Bau eines Ionenzählers

wäre es deshalb von großer Wichtigkeit, vorausgesetzt, daß man auf die bewährte Swannsche Schutzvorrichtung nicht verzichtet, auf ihre sorgfältige Ausführung, wie auf ihre Verbindung mit der Innenelektrode achtet. Die Abstände des kleinen Zylinders, der durch drei Streben mit der Innenelektrode verbunden ist, von der Schutzkappe und der Außenelektrode, müssen auf ein Minimum verringert werden. Das geringe Gewicht des Zylinders läßt es wahrscheinlich auch zu, statt drei nur zwei Streben von möglichst geringer Stärke zu verwenden. Ihre Verbindung mit der Innenelektrode darf nur durch feine Lötstellen angedeutet sein. In wie weit die Verkleidung und seitliche Ausführung der Innenelektrode zum Elektrometer eine Quelle für störende Wirbelbildungen bietet, läßt sich nicht feststellen; gleichwohl ist auch hier auf kleinste Ausmaße zu sehen, selbst bei Verwendung der oben angegebenen Beckerschen Ausführung. Zusammenfassend ist zu sagen, daß alle Widerstände, die sich der Durchsauggeschwindigkeit im Kondensator bieten, in ihren Dimensionen auf das geringste herabgedrückt werden müssen. Selbstverständlich muß man versuchen, mit der kleinstmöglichen Durchsauggeschwindigkeit zu arbeiten, ohne dadurch Schwierigkeiten in der Gleichmäßigkeit der Tourenzahl des Motors zu bekommen.

Eine Anzahl weiterer Versuche erstreckte sich auf den Vergleich von Ionenmessungen mit dem ganzen Kondensator (Kond. I) und dem um das Mittelstück verkürzten Kondensator (Kond. II). Gemessen wurden Ionen mit der Beweglichkeit $k \geqq 1$ cm/sec: Volt/cm bei fester Spannung von 100 Volt an der Außenelektrode und den entsprechenden Durchsauggeschwindigkeiten. Die Messungen wurden im Zimmer ausgeführt. Tabelle 6 gibt wieder Mittelwerte von 6 Meßreihen aus je 5 Einzelwerten. Die hohen Werte im Zimmer sind auf künstliche Ionisation durch einen Kollektor zurückzuführen.

Tabelle 6.

| Kond. I | Kond. II | Überschuß von K. I in % |
|---|---|---|
| 325 | 285 | 14 |
| 304 | 263 | 15,5 |
| 292 | 260 | 12 |
| 302 | 260 | 16 |
| 544 | 468 | 16 |
| 528 | 469 | 12,5 |
| | Mittel: | 14 % |

Die im Mittel um 14 % größeren Ionenwerte, die man mit dem Kondensator I erhält, sind zum großen Teil durch Turbulenz im Kondensator zu erklären. Die Durchsauggeschwindigkeiten von

Kond. I und Kond. II stimmen ungefähr überein mit den oben verwandten bei der Messung mit 100 und 50 Volt. Die Ergebnisse, hier 14% und dort 11%, sind recht gut, wenn man die Veränderung des Ionenzustandes in Betracht zieht, die beim Zerlegen und Zusammensetzen des Kondensators und der Regulierung der Durchsauggeschwindigkeit eintritt.

Die Anwendung der im vorigen Abschnitt durchgeführten Rechnung zur Bestimmung des Anteils mittlerer und schwerer Ionen bei der Messung der leichten mit dem Kondensator II ergibt die gleichen Prozentzahlen wie bei Kondensator I. Die geringeren Ionenzahlen bei Kondensator II sind also nicht auf einen geringeren Anteil mittlerer und schwerer Ionen zurückzuführen.

### *4. Messungen im Beweglichkeitsbereich 0,1 bis 1,4 cm/sec : Volt/cm.*

Um an einem Ort Messungen von Ionen mit bestimmter Grenzbeweglichkeit ausführen zu können, müssen diesen Messungen Bestimmungen über die Verteilung der Ionen im Spektrum vorangehen. Hierzu dienen die Charakteristiken oder Stromspannungskurven. Diese Diagramme aus Ionenstrom oder abgefangener Ionenzahl und Kondensatorspannung oder Grenzbeweglichkeit ergeben sich aus den Werten, die man erhält beim Variieren der Ionenbeweglichkeit über die größtmöglichen Grenzen. Diese wieder sind abhängig von den Versuchsbedingungen und Apparatdimensionen des zur Messung zu benutzenden Kondensators. Bei der Charakteristikmessung in der Atmosphäre tritt eine große Schwierigkeit auf, nämlich die großen und schnellen Schwankungen der Ionenzahl während der verhältnismäßig langen Dauer der Messung. Scholz (l. c. Seite 1) und Israel (l. c. Seite 11) ist es gelungen, mittels ihrer Doppelkondensatoren diese Schwierigkeiten zum größten Teil zu überwinden. Für meine Untersuchungen und das von mir gewählte Ionengebiet stand eine derartige Versuchsanordnung nicht zur Verfügung. Ich mußte deshalb einen einfacheren Weg benutzen. Durchsauggeschwindigkeit und Kondensatorspannung ließen ein Variieren der Grenzbeweglichkeit von 0,1 bis 1,4 cm/sec: Volt/cm zu, also ausschließlich das Gebiet der leichten Ionen. In diesem Bereich mußte ich mich bei der Messung auf die vier Gruppen 0,1, 0,5, 1,0 und 1,4 cm/sec: Volt/cm beschränken, weil der Motor eine weitere Feinregulierung der Durchsauggeschwindigkeit nicht zuließ. Um einen Überblick über die Schwankungen in der Atmosphäre zu bekommen, schaltete ich nach jeder Meßreihe von 0,1, 0,5 und 1,4 eine Meßreihe von 1,0 als Kontrollwert ein. Jede Meßreihe einer Beweglichkeit bestand aus fünf einzelnen Messungen, deren Mittelwerte ich zu Charakteristiken zu-

sammensetze. Schon aus den ersten Messungen ergab sich, daß für derartige Untersuchungen nur ausgewählt ruhige Tage zu benutzen sind, um ein ungefähres Bild der reellen Verhältnisse zu bekommen. Tabelle 7 gibt die Mittelwerte von vier derartigen Messungen. In

Tabelle 7.

| Datum | Zeit | $k_g \geqq 1{,}0$ | $k_g \geqq 1{,}4$ | $k_g \geqq 1{,}0$ | $k_g \geqq 0{,}5$ | $k_g \geqq 1{,}0$ | $k_g \geqq 0{,}1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18. Mai 1934 | $11^h$ | 138 | 101 | 129 | 161 | 123 | 319 |
| 31. Mai 1934 | $11^h$ | 248 | 216 | 261 | 306 | 255 | 446 |
| 31. Mai 1934 | $12^h$ | 250 | 226 | 241 | 310 | 253 | 448 |
| 31. Mai 1934 | $15^h$ | 347 | 289 | 334 | 369 | 315 | 475 |

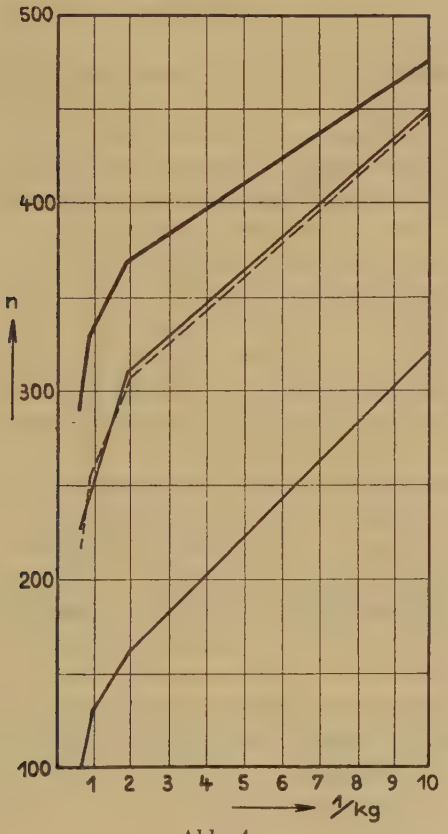


Abb. 4.

Abbildung 4 sind die gleichen Werte zu Kurven zusammengesetzt. Sämtliche 4 Diagramme weichen von Geraden ab und zeigen im Be-

reich 0,5 bis 1,4 cm/sec: Volt/cm Knickpunkte. Daraus geht eindeutig hervor, daß in diesem Gebiet eine Gruppe von Ionen, die leichten oder Kleinionen, vorhanden ist. Aus der Verschiedenartigkeit der Krümmungen ersieht man das Schwanken der Ionen innerhalb des Beweglichkeitsbereiches.

## III. Messungen in Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren.

### *1. Allgemeines.*

Im folgenden Teil werden die Messungen der Ionen mit der Beweglichkeit 1,0 cm/sec: Volt/cm zu meteorologischen Faktoren in Beziehung gesetzt, um eine evtl. Abhängigkeit zu finden. Das gesamte Material setzt sich zusammen aus zwei Meßabschnitten. Es erstreckt sich einmal auf die von August 1932 bis August 1933 fallenden halbstündigen Vor- und Nachmittagsmessungen, und außerdem auf die vom Sommer 1933 bis zum Frühjahr 1934 sich hinziehenden, über mehrere Stunden laufenden Meßreihen. Die ersteren fanden statt zwischen 9 und 11 Uhr und zwischen 15 und 17 Uhr, soweit es die Witterungsverhältnisse zuließen. In der Regel gehörten zu jeder Messung acht Einzelmessungen zu je 60 Sekunden Meßzeit und zwar in der Weise, daß auf zwei Messungen eines Vorzeichens vier vom anderen folgten und zum Schluß noch einmal zwei vom ersten. Zwischen zwei Messungen verschiedenen Vorzeichens wurde eine Pause von 2 Minuten eingehalten zwecks Polarisation der Isolatoren. Vor und nach jeder Messung wurde die Empfindlichkeit bestimmt. Da vom Potentialgefälle her die Einwirkung von Strato-Cumulus, Nimbusstratus und Stratusbewölkung ferner von starkem Dunst und Nebel, Niederschlägen und Gewittern auf die luftelektrischen Elemente bekannt war, wurden bei der Auswertung der Messungen diese Tage von den wolkenlosen und wenig bewölkten Cirrus- und Cumulustagen getrennt. Hierdurch zerfiel das gesamte Meßmaterial in die beiden folgenden Teile: Werte an ungestörten Tagen und Werte an gestörten Tagen.

*2. Ergebnisse der Werte an ungestörten Tagen.*

Der Mittelwert der Messungen an 117 ungestörten Vormittagen vom 1. August 1932 bis 31. August 1933 ergab für $n_+ = 178$, $n_- = 133$, und daraus folgt $q_n = 1{,}34$. Dieser Mittelwert zeigt sehr deutlich die verbesserte Meßmethode gegenüber dem alten Ebertschen Ionenzähler, mit dem an anderen Orten Mittelwerte zwischen 500 und 2000 Ionen gefunden wurden. Einige Messungen mit dem Ebert-Apparat parallel zu den täglichen Messungen ergaben in Potsdam ein Vielfaches der Werte als mit dem neuen Kondensator.

Die Zusammenstellung der an ungestörten Tagen erhaltenen Vormittagswerte ergab den in Abbildung 5 dargestellten jährlichen Gang von $n_+$ und $n_-$. Charakteristisch sind die beiden Maxima im April

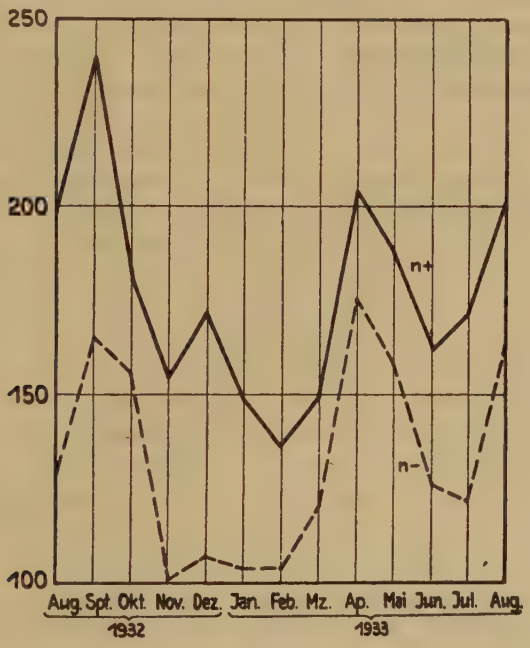


Abb. 5.

und September, während in den Wintermonaten November bis Februar die tiefsten Werte erhalten wurden. Ein zweites Minimum stellte sich im Juni und Juli ein. Der Verlauf der beiden Kurven von $n_+$ und $n_-$ ist keineswegs parallel. Die größten Abweichungen fallen auf die Wintermonate. Die Erklärung hierfür ist wohl darin zu suchen, daß einmal das Material zahlenmäßig ungleich auf die Monate verteilt ist und daß zweitens der Stadteinfluß, der zu dieser Zeit am stärksten ist, selbst an meteorologisch störungsfreien Tagen seine

unkontrollierbaren Wirkungen auf die Ionisierungsverhältnisse ausübt. Die verschiedenen atmosphärischen Störungen, die in der freien Beobachtung teils nicht bemerkt und teils nicht beachtet werden, treten durch die überaus empfindliche Meßapparatur in der Messung sofort auf. Das macht sich bemerkbar durch die verschiedenen Werte von $n_+$ und $n_-$ und in der Hauptsache durch das sich daraus ergebende Verhältnis $n_+/n_- = q_n$. Aus diesem Grunde ist es auch oft nicht möglich, ausreichende Erklärungen für die Werte zu finden. Selbst das große Material, das hier zur Verfügung steht, reicht nicht aus gesetzmäßig die Messungen auszuwerten. Es ist deshalb erforderlich, die Messungen weiterzuführen, um später das gesamte Material zu bearbeiten. Wesentlich einfacher würde sich die Aufgabe gestalten, wenn eine zweite völlig gleiche Apparatur zur Benutzung stände, so daß beide Elemente streng gleichzeitig beobachtet werden könnten. Von weiterem Nutzen für die Erklärung verschiedener luftelektrischer Vorgänge würde außerdem noch die gleichzeitige Messung der schwerbeweglichen positiven und negativen Ionen sein. Die Abhängigkeit dieser beiden Ionengruppen von einander haben Israel[13]) und Egloff[14]) in ihren Arbeiten gefunden. Es liegt deshalb nahe, diese Abhängigkeit für die Erklärung vorläufig noch unerklärlicher Vorgänge in der Luftelektrizität heranzuziehen.

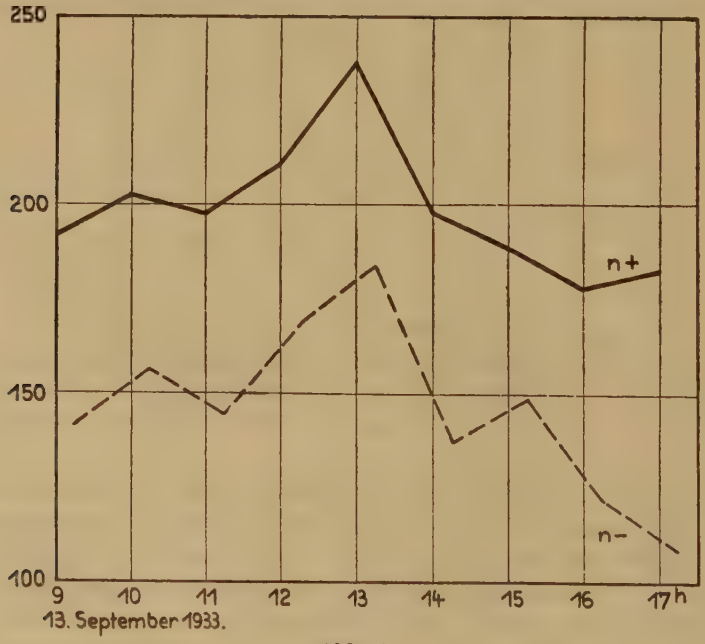


Abb. 6.

[13]) H. Israel, Gerlands Beitr. z. Geophys. 23, 159, 1929.
[14]) K. Egloff, Dissertation Zürich Nr. 766, 58.

Abbildung 6 gibt eine Messung vom 13. September 1933 wieder. Mittags erreichten $n_+$ und $n_-$ die größten Werte. Auch hier zeigt der Verlauf der Kurven am Nachmittag keine Parallelität, wofür ein Grund nicht gefunden werden konnte.

Ordnet man alle Vormittagsmessungen von September 1932 bis August 1933 nach der Sichtweite (Tabelle 8), so zeigt sich, daß mit größer werdender Sichtweite die Zahl der leichten Ionen zunimmt. Je geringer also die Trübung der Luft ist, umso größer ist die Zahl und damit die Lebensdauer der Ionen. Dadurch werden die von

Tabelle 8.

| | 0 — 10 | | 11 — 20 | | 21 — 30 | | 31 — 40 | | > 40 km | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $n_+$ | $n_-$ | $n_+$ | $n_-$ | $n_+$ | $n_-$ | $n_+$ | $n_-$ | $n_+$ | $n_-$ |
| Jahresmittel | 154 | 105 | 161 | 122 | 176 | 136 | 176 | 141 | 237 | 202 |
| Sept. 1932 — Aug. 1933 | (23) *) | | (24) | | (29) | | (23) | | (9) | |

*) Die Zahlen in ( ) geben die Anzahl der Werte an.

Grieger[15]) angestellten Überlegungen bestätigt, wonach die große Zahl der die schlechte Sicht hervorrufenden Partikelchen die Lebensdauer der leichtbeweglichen Ionen verkürzt und ihren Anteil am Gesamtstrom und an der Leitfähigkeit schmälert.

Eine Zusammenstellung derselben Werte nach Luftkörpern findet sich in Tabelle 9. Die Luftmassen wurden analysiert nach den Bezeichnungen von Linke und Dinies[16]). Zur Bestimmung wurden die Berliner und Hamburger-Seewarte Wetterkarten mit ihren Angaben über Wind und Temperaturverteilung, sowie die Potsdamer Beobachtungsergebnisse benutzt. Für die Zusammenstellung der Ionen nach Luftkörpern war der Gedanke maßgebend, daß die verschiedene Herkunft der Luftmassen sich in den Werten der Ionen niederschlägt. Um ein einigermaßen klares Bild zu erhalten, konnten hierfür nur die Werte von ungestörten Tagen benutzt werden. Die Folge war, daß dadurch das Material erheblich zusammenschrumpfte und in der Tabelle große Lücken hinterließ. m bedeutet jeweils die Zahl der Messungen. Ich halte deshalb auch nur die Werte für M, PM, C und I Luft vergleichbar. Im Jahresmittel sind die Werte für $n_+$ und $n_-$ bei polarmaritimer Luft am größten, während bei maritimer, kontinentaler und indifferenter Luft ein wesentlicher Unterschied nicht gefunden werden kann. Im Jahreszeitenmittel ergibt sich für die charakteristischen Luftkörper M und C, daß die Werte für

15) H. Grieger, Dissertation Berlin, 1934, 23.
16) F. Linke und E. Dinies, Das Wetter, 47, 1, 1930.

Tabelle 9.

| LK | Sept.—Nov. | | | Dez.—Febr. | | | März—Mai | | | Juni—Aug. | | | Jahresmittel | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m | $n_+$ | $n_-$ | m | $n_+$ | $n_-$ | m | $n_+$ | $n_-$ | m | $n_+$ | $n_-$ | m | $n_+$ | $n_-$ |
| M | 9 | 179 | 137 | 1 | 162 | 110 | 5 | 152 | 123 | 11 | 158 | 107 | 26 | 164 | 128 |
| PM | 4 | 321 | 226 | 1 | 123 | 70 | 1 | 223 | 212 | 5 | 241 | 195 | 11 | 259 | 197 |
| P | — | — | — | 3 | 162 | 102 | 2 | 225 | 191 | 1 | 190 | 166 | 6 | 187 | 159 |
| PC | — | — | — | — | — | — | 3 | 130 | 112 | 5 | 146 | 108 | 8 | 139 | 110 |
| C | 2 | 135 | 104 | 6 | 109 | 82 | 16 | 188 | 157 | 4 | 205 | 155 | 28 | 173 | 138 |
| TC | 2 | 194 | 145 | 1 | 220 | 129 | — | — | — | — | — | — | 3 | 203 | 140 |
| T | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 152 | 138 | 2 | 152 | 138 |
| TM | 1 | 97 | 55 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | 97 | 55 |
| J | 4 | 170 | 112 | 4 | 200 | 120 | 6 | 152 | 123 | 5 | 199 | 132 | 19 | 178 | 122 |
| X | — | — | — | 2 | 142 | 105 | 2 | 188 | 142 | 1 | 162 | 112 | 5 | 164 | 121 |

maritime Luft von September bis Februar größer als bei kontinentaler Luft sind, während von März bis August das umgekehrte Verhältnis besteht. Dennoch scheint aus der Tabelle hervorzugehen, daß das Material für eindeutige Ergebnisse nicht ausreichend ist, zumal bei den verhältnismäßig niedrigen und den innerhalb einer geringen Spanne schwankenden Werten. Eine weitere Frage ist die, ob der Einfluß der örtlichen Faktoren (Stadt, Wald) für diese Beobachtungsstation nicht den Einfluß der Luftkörper überwiegt, speziell für die leichten Ionen. Auch Israel[17]) weist in einer Arbeit auf die durch Stadteinfluß gestörten Merkmale der Luftkörper bei Ionenmessungen hin. Er kommt zu dem Ergebnis, daß eine quantitative Erfassung des Zusammenhanges von Ionen mit Luftkörpern nur durch längere Meßreihen in reiner Landluft möglich ist.

### *3. Ergebnisse der Werte an gestörten Tagen.*

a) Wolkeneinfluß.

Durch Raumladungsmessungen hat Kähler[18]) gezeigt, daß bei niedrigen Wolken, vor allem bei Böen und Gewitterwolken, ohne daß Regen aus ihnen fällt, das elektrische Feld am Boden stark beeinflußt werden kann. Aus den Messungen ist zu ersehen, daß das Potentialgefälle negativ wird, während die Raumladung positiv bleibt, jedoch auch abnimmt. Dabei stellt Kähler fest, daß es sich nicht um eine Wolkeninfluenz handelt, sondern, daß mit den Wolken Ladungen ziehen, die bis zum Erdboden herunter reichen, und die Abnahme der Raumladung nur durch Zunahme der negativen Träger erfolgt sein kann. Vereinzelt ist diese Zunahme so stark, daß dadurch die Raumladung negativ wird. Ebenso häufig können die heranziehenden Wolkenladungen auch positiv sein. In diesem Fall tritt eine Zunahme

[17]) H. Israel, Gerlands. Beitr. z. Geophys. *26*, 298, 1930.
[18]) K. Kähler, Met. Zs. *39*, 293, 1922.

der Raumladung und gleichzeitige Steigung des Potentialgefälles ein. Es ergab sich weiter aus den Messungen, daß die Ladungen durchaus nicht immer gleichmäßig bis zum Boden herabreichen, sondern beträchtliche Schwankungen auf geringe Entfernungen eintreten können. Dieser Wolkeneinfluß machte sich in der gleichen Weise bei meinen Ionenmessungen bemerkbar. In Tabelle 10 sind alle Tage mit Strato-Cumulus-Bewölkung zusammengefaßt. Die Wolken sind in der üblichen Weise nach Zehnteln der sichtbaren Himmelsfläche abgeschätzt und ihre Vertikalentwicklung durch beigesetzte Indizes von 0 bis 2 angegeben. Zunächst fallen die außerordentlich hohen Werte

Tabelle 10.

| Datum | Zeit | Bewölkung | L.K. | $n_+$ | $n_-$ | $q_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 14. Sept. | $16^{15}$ | $9^1$ Acu, Stcu | PM | 122 | 57 | 2,1 |
| 15. Sept. | $16^{30}$ | $8^1$ Stcu, Acu | M | 110 | 58 | 1,9 |
| 5. Okt. | $16^{00}$ | $9^1$ Ci, Cist, Stcu | PM | 212 | 121 | 1,75 |
| 8. Nov. | $11^{30}$ | $8^1$ St, Stcu | TC | 174 | 145 | 1,20 |
| 12. Nov. | $10^{30}$ | $9^1$ Stcu, Frst | C | 40 | 131 | 0,31 |
| 14. Nov. | $11^{00}$ | $8^1$ Stcu | C | 264 | 248 | 1,06 |
| 17. Nov. | $15^{20}$ | $8^1$ Stcu und. | X | 268 | 192 | 1,39 |
| 17. Nov. | $15^{30}$ | $8^1$ Stcu und. | X | 268 | 90 | 3,0 |
| 18. Nov. | $10^{30}$ | $8^{0,1}$ Stcu | C | 212 | 144 | 1,47 |
| 5. Dez. | $16^{00}$ | $7^1$ Stcu, Acu | P | 240 | 226 | 1,07 |
| 11. Jan. | $15^{20}$ | $9^1$ Stcu, St | PM | 237 | 80 | 3,0 |
| 1. Febr. | $10^{00}$ | $8^{0,1}$ Stcu | M | 99 | 73 | 1,35 |
| 15. Febr. | $11^{00}$ | $7^1$ Stcu, Frcu | P | 134 | 152 | 0,88 |
| 5. April | $10^{00}$ | $10^1$ Stcu | PM | 228 | 194 | 1,17 |
| 22. April | $10^{30}$ | $8^{1,2}$ Acu,Ast,Stcu | P | 240 | 226 | 1,07 |
| 13. Mai | $10^{30}$ | $8^{1,2}$ Frst, Stcu | X | 202 | 141 | 1,43 |
| 19. Mai | $10^{30}$ | $5^1$ Stcu, Frcu | J | 203 | 208 | 0,98 |
| 1. Juni | $10^{30}$ | $9^{1,2}$ Ast, Stcu, Frst | X | 186 | 198 | 0,94 |

von $n_+$ und $n_-$ auf, die in den Wintermonaten in der gleichen Weise wie im Sommer vorzufinden sind. Aus den dazu gegebenen Luftkörperangaben ist ein Einfluß auf die Größe der Werte nicht zu entnehmen. Die verschiedenen positiven und negativen Wolkenladungen treten deutlich in der Spalte von $q_n$ auf. Bei positiven Ladungen kann $n_+$ den dreifachen Wert von $n_-$ erreichen und bei negativen Ladungen $n_-$ den dreifachen Wert von $n_+$. Die Messungen mit beiderseits hohen oder niedrigen Werten von $n_+$ und $n_-$, bei denen wieder das $q_n$ um den Normalwert 1,2 bis 1,4 liegt, lassen sich nur so erklären, daß positive und negative Ladungen die Trägerzahlen beeinflußten. Auch wäre es möglich, daß infolge der Zwangspause beim Wechseln der Vorzeichen während der Meßreihe die charakteristischen Schwankungen entgangen sind. Wie in der Tabelle zu sehen ist, ge-

lang es am 17. November 1932 diese Schwankungen zufällig zu beobachten. An jenem Tage waren $^{8}/_{10}$ des Himmels mit ausgeprägten Strato-Cumulus-Wolken in Wogenform bedeckt. Die Schwankungen der negativen Ionen waren derart groß, daß in wenigen Minuten $q_n$ von 1,39 auf 3,0 stieg. Am 3. August 1933 gelang es innerhalb einer längeren Meßreihe, die Wirkung einer Strato-Cumulus-Wolke zu beobachten. Bei normalem schönen Sommerwetter zog plötzlich in geringer Höhe von W nach E eine dicke, schwarze Strato-Cumulus-Wolke. Aus der Abbildung 7 ersieht man das Emporschnellen der Werte in der Zeit, während der sich die Wolke gerade über dem Meßplatz befand, und das plötzliche Fallen nach ihrem Abzug. In

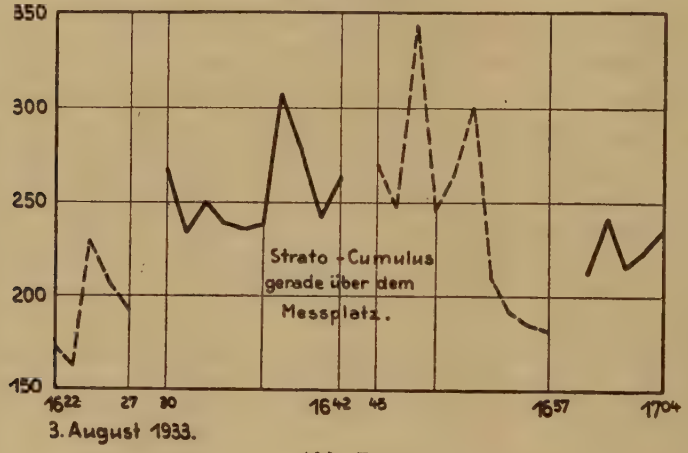


Abb. 7.

——————— = $n_+$

– – – – – – – = $n_-$

diesem Fall hätte ein zweiter gleicher Meßkondensator, durch den dann die gleichzeitige Messung beider Vorzeichen ermöglicht worden wäre, interessante Einzelheiten über den Verlauf bringen können. Es geht mit Sicherheit nur aus der Messung hervor, daß die Wolke das Erdfeld aus dem normalen Zustand gebracht hat. Über das Vorzeichen der Ladung kann nichts gesagt werden.

Ein gutes Bild von den Veränderungen des Ionisierungszustandes, die durch Gewitterwolken hervorgerufen werden, gibt die Messung vom 12. April 1933 in Abbildung 8. Obwohl es sich in diesem Falle nur um ein vorbeiziehendes Ferngewitter handelte, ist die Wirkung klar zu erkennen. Das Verhältnis von $n_+/n_-$ änderte sich dauernd, die Ionenwerte schwankten zwischen 20 und 230. Abbildung 9 zeigt eine Messung vom 18. Mai bei Strato-Cumulus- und Nimbus-Stratus-Bewölkung, aus der vereinzelt Regentropfen fielen. Am 22. Juni

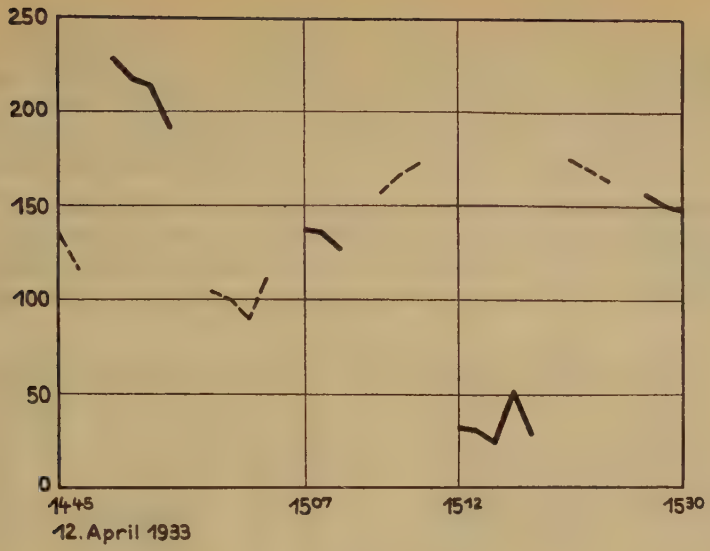


Abb. 8.

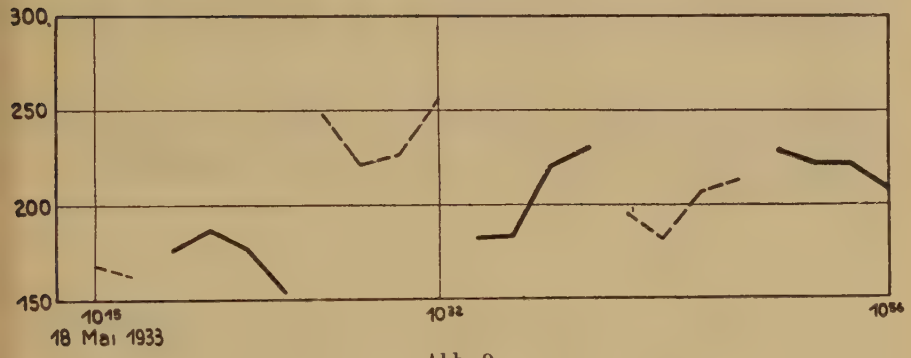


Abb. 9.

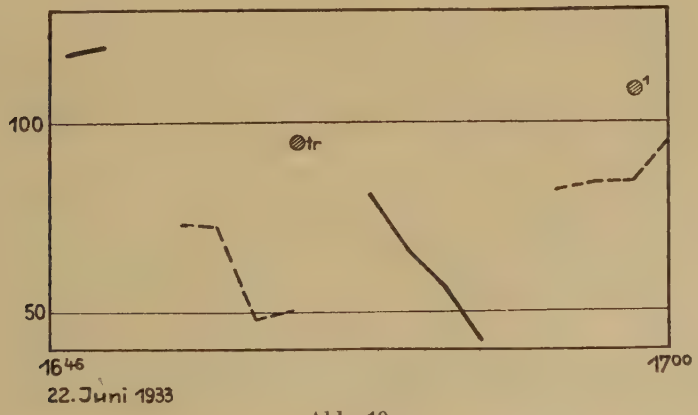


Abb. 10.

mußte eine Messung bei einsetzendem Regen 1 abgebrochen werden (Abbildung 10). In beiden Fällen treten die Störungen klar hervor. Aus Abbildung 10 ist zu entnehmen, daß kurz vor dem Einsetzen des starken Regens die Zahl der positiven Ionen erheblich zurückgeht, während die negativen Ionenwerte ansteigen. In Tabelle 11 sind alle Messungen zusammengestellt, die bei geringen Niederschlägen erhalten wurden. Auffallend hoch sind die Werte für $n_+$ und $n_-$ bei Regen 0, während die Messung vom 11. Januar bei Schnee 0 weitaus geringere Ionenzahlen zeigt. Die Schwankungen von $q_n$ treten bei diesen Mittel-

Tabelle 11.

| Datum | Zeit | Bewölkung | L. K. | $n_+$ | $n_-$ | $q_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 15. Dez. | $12^{00}$ | $10^{1}$ Nbst ◍tr | X | 177 | 148 | 1,19 |
| 4. Jan. | $11^{15}$ | $10^{1,2}$ Nbst ◍tr | X | 252 | 170 | 1,48 |
| 11. Jan. | $12^{00}$ | $10^{1,2}$ St, Nbst $*^{0}$ | PM | 150 | 97 | 1,55 |
| 31. März | $11^{30}$ | $7^{1}$ Nbst, Frcu ◍tr | M | 170 | 172 | 1,00 |
| 28. April | $16^{30}$ | $6^{1,2}$ Ci, Acu, Nbst ◍$^{0}$ | PM | 200 | 200 | 1,00 |
| 27. Mai | $11^{25}$ | $10^{1}$ Ast, Nbst, Frcu◍tr | J | 314 | 297 | 1,05 |
| 27. Mai | $11^{35}$ | $10^{1}$ Ast, Nbst, Stcu◍tr | J | 271 | 310 | 0,87 |
| 6. Juli | $16^{40}$ | $7^{1}$ Acu, Nbst, Ast ◍$^{0}$ | PC | 230 | 104 | 2,21 |

werten nicht so eindeutig hervor, als man erwarten könnte. Dies ist wohl damit zu erklären, daß die Messungen kurz vor Beginn der stärkeren Niederschläge, die die großen Störungen herbeiführen, abgebrochen wurden.

b) Nebel und Dunst.

Ein wesentlich anderes Bild ergibt sich bei Nebel und reiner Stratusbewölkung. Tabelle 12 gibt eine Zusammenstellung aller Werte, die bei Nebel gemessen wurden. Es wurde in der üblichen Weise die Stärke des Nebels bezeichnet: mit Nebel 0, wenn die Gegenstände noch über 1000 Meter in horizontaler Richtung sichtbar waren; mit Nebel 1, wenn sie noch zwischen 100 und 1000 Meter sichtbar waren und schließlich mit Nebel 2, wenn die Gegenstände schon in einer Entfernung von 100 Meter nicht mehr zu sehen waren. Auffallend sind die niedrigen Werte von $n_+$ und $n_-$. Aus der Tabelle geht hervor, daß mit stärker werdendem Nebel die Zahlen der leichten Ionen abnehmen. Nun hat sich aber in II. 2 gezeigt, daß die bei Nebel 2 erhaltenen Zahlen für $n_+$ restlos durch abgefangene schwere Ionen zu erklären sind und gar keine leichten Ionen vorhanden waren. Daraus geht hervor, daß bei stärker werdendem Nebel die leichten Ionen durch Anlagerung an die schwerbeweglichen Nebeltröpfchen verschwinden. Dagegen sind die großen Schwankungen

Tabelle 12.

| Datum | Zeit | Bewölkung | Nebel | L. K. | $n_+$ | $n_-$ | $q_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10. Nov. | $11^{00}$ | $10^{2}$ St | 1 | C | 54 | 82 | 0,66 |
| 10. Nov. | $15^{15}$ | $10^{2}$ St | 2 | C | 12 | 39 | 0,31 |
| 11. Nov. | $10^{30}$ | $10^{2}$ St | 0 | C | 77 | 84 | 0,92 |
| 17. Nov. | $10^{15}$ | $10^{2}$ St | 2 | X | 10 | 23 | 0,44 |
| 2. Dez. | $11^{45}$ | $10^{1}$ Ast | 0 | X | 57 | 35 | 1,63 |
| 10. Dez. | $11^{15}$ | $10^{2}$ St | 1 | P | 52 | 45 | 1,15 |
| 16. Dez. | $10^{30}$ | $10^{2}$ St | 0 | M | 110 | 54 | 2,0 |
| 13. Januar | $10^{00}$ | $10^{1}$ St | 0 | C | 196 | 161 | 1,22 |
| 16. Januar | $11^{30}$ | $10^{2}$ St | 0 | C | 134 | 104 | 1,29 |
| 18. Januar | $11^{30}$ | $10^{2}$ St | 0 | C | 79 | 57 | 1,38 |
| 19. Januar | $10^{30}$ | $10^{2}$ St | 0 | C | 95 | 49 | 1,94 |
| 20. Januar | $10^{00}$ | $10^{1}$ St | 0 | C | 54 | 36 | 1,5 |
| 8. Februar | $12^{00}$ | $10^{1}$ St | 1 | M | 62 | 25 | 2,5 |
| 22. Februar | $11^{00}$ | $10^{1}$ St | 1 | C | 50 | 24 | 2,1 |
| 7. März | $12^{15}$ | $10^{1}$ St | 0 | J | 126 | 102 | 1,23 |
| 8. März | $11^{30}$ | $10^{1}$ St | 0 | J | 166 | 125 | 1,33 |

von $q_n$ nur durch wechselnde positive und negative Nebelladungen zu erklären. Erst gleichzeitige Messungen von positiven und negativen leichten und positiven und negativen schweren Ionen können zur endgültigen Klärung der Vorgänge bei Nebel führen. Einfache Messungen der geladenen und ungeladenen Kerne führen nicht weiter, es kommt auf die Trennung der beiden Vorzeichen an, um ihr Verhältnis mit dem der leichten in Beziehung zu bringen. Abbildung 11 stellt eine Messung bei Nebel 2 am 10. November 1932 dar. Die negativen Werte sind während der ganzen Zeit größer als die positiven.

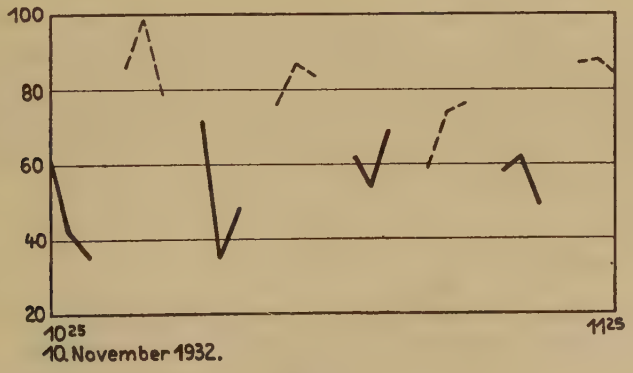


Abb. 11.

In den Tabellen 13 und 14 sind die Messungen zusammengestellt, die an Tagen mit Dunst 1 und Dunst 2 beobachtet wurden. Der

Unterschied zum Nebel besteht darin, daß die relative Feuchtigkeit unter 85 % liegt. Aus der Tabelle 13 sind Einwirkungen von Dunst 1 auf die Zahlen der leichten Ionen nicht zu erkennen. Der wolken-

Tabelle 13.

| Datum | Zeit | Bewölkung | L. K. | $n_+$ | $n_-$ | $q_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4. November | $10^{15}$ | $1^0$ Ci | TM | 97 | 55 | 1,76 |
| 15. November | $12^{00}$ | 0 | C | 106 | 84 | 1,26 |
| 20. Dezember | $12^{00}$ | $3^0$ Ci | J | 225 | 147 | 1,53 |
| 14. Januar | $11^{15}$ | 0 | C | 170 | 122 | 1,39 |
| 26. Januar | $11^{00}$ | 0 | C | 123 | 78 | 1,58 |
| 1. März | $11^{00}$ | 0 | C | 152 | 119 | 1,28 |
| 2. März | $10^{45}$ | $10^0$ Cist | C | 170 | 126 | 1,35 |
| 14. März | $10^{00}$ | 0 | C | 156 | 122 | 1,28 |
| 15. März | $10^{30}$ | $8^0$ Ci, Cist, Frcu | M | 145 | 107 | 1,36 |
| 27. März | $11^{00}$ | 0 | C | 121 | 98 | 1,24 |
| 16. August | $10^{30}$ | $3^1$ Cu, Frcu | M | 205 | 156 | 1,31 |
| 31. August | $10^{15}$ | 0 | C | 159 | 108 | 1,47 |

Tabelle 14.

| Datum | Zeit | Bewölkung | L. K. | $n_+$ | $n_-$ | $q_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10. September | $10^{15}$ | $1^1$ Acu, Ci | TC | 88 | 62 | 1,42 |
| 14. Dezember | $12^{00}$ | $8^0$ Cist | TC | 220 | 129 | 1,70 |
| 22. Dezember | $10^{00}$ | $6^0$ Ci, Cist | J | 143 | 59 | 2,4 |
| 12. Januar | $11^{15}$ | $10^1$ St | PM | 103 | 48 | 2,15 |
| 27. Januar | $10^{15}$ | 0 | C | 117 | 52 | 2,3 |
| 28. Januar | $10^{15}$ | $9^1$ St | X | 86 | 29 | 3,0 |
| 30. März | $10^{00}$ | $9^0$ Ci, Cist, Acu | J | 88 | 66 | 1,33 |

lose oder wenig bewölkte Himmel bei Dunst läßt die hohen Werte im Gegensatz zu den gedrückten bei Stratusbewölkung im Nebel zu. Dagegen sind bei Dunst 2 wieder größere Schwankungen in den Werten von $n_+$ und $n_-$ neben einem Ansteigen des $q_n$ zu sehen. Irgendwelche Abhängigkeiten von den Jahreszeiten, Bewölkungen oder Luftkörpern sind nicht zu erkennen.

c) Blütenstaub.

Eine schwer kontrollierbare Störungsquelle ergibt sich aus der Lage der Beobachtungsstation. Wie schon oben angeführt, liegt der Meßplatz in einer Lichtung inmitten von Mischwald. Diese Lichtung ist außerdem völlig bewachsen mit den verschiedensten Gräsern, Kräutern und Büschen. Der Blütenstaub, und im Spätsommer und Herbst die kleinen Früchte eines Teils von ihnen werden durch den Wind

umhergewirbelt und führen eine Fälschung der Ionisierungsverhältnisse herbei. Bereits durch die vorher erwähnten Raumladungsmessungen hat K ä h l e r (l. c. Seite 20) eine Elektrisierung durch Blüten-, Sand- und Bodenstaub festgestellt. Diese Staubwirkung findet nach K ä h l e r eine ähnliche Erklärung wie die Lenardwirkung beim zerstäubenden Wasser. Auch hier entstehen schwerbewegliche positive Träger und leichtbewegliche negative. Die ersteren sinken leichter zu Boden, während die negativen leichten eher nach oben gewirbelt werden. Bei zwei längeren Meßreihen im August 1933 machte sich eine derartige Wirkung bei der Ionenmessung bemerkbar. Südwestlich vom Meßplatz, in ungefähr 20 bis 25 Meter Entfernung wächst auf einer größeren Fläche Weidenröschen (epilobium). Die weißen flokkigen Früchte waren reif und wurden durch SW-Wind über den Meßplatz gewirbelt. Abbildung 12 gibt die Messung vom 5. August wieder. Jeder Punkt ist der Mittelwert aus fünf Messungen. Die Bewöl-

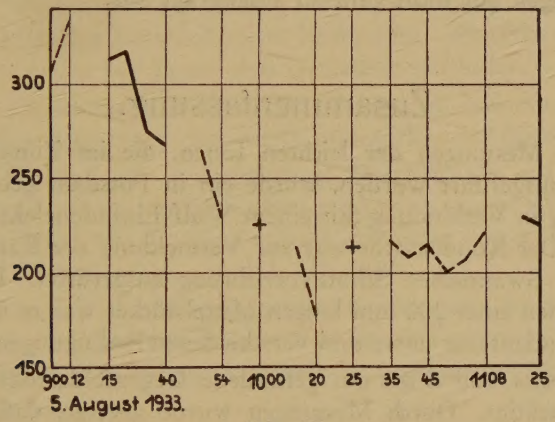


Abb. 12.

kung war anfänglich $2^{0,1}$ Frcu, zum Schluß $1^{0}$ Ci, also normales Sommerwetter ohne jeden störenden atmosphärischen Faktor. Auffallend sind schon die starken Ionenschwankungen desselben Vorzeichens, die trotz der Mittelwerte klar hervortreten. Dazu kommen noch die Schwankungen von $q_n$. Die Ursachen hierfür sind vermutlich neben dem böigen Wind, in der großen Entfernung der Störungsquelle vom Meßgerät zu suchen. Da nun die Weidenröschen auf einer ungefähr 2 Meter höheren Fläche standen als der Fußpunkt des Meßplatzes, lagen sie auf gleicher Höhe mit der Kondensatoröffnung. Die positiven schweren Ionen waren bereits zum großen Teil am Boden, während die negativen leichten den Überschuß in meinem Meßgerät ausmachten. Die Messung vom 9. August ist in Abbildung 13 dargestellt. Auch hier herrschte wieder störungsfreies Wetter bei einer

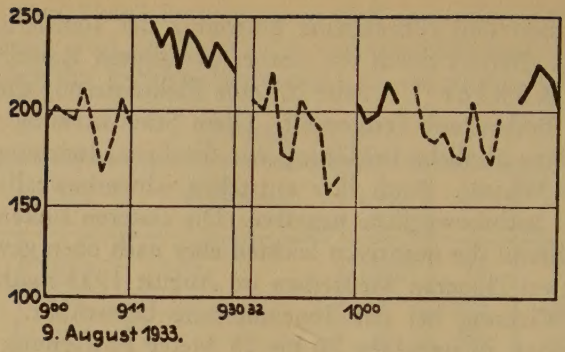


Abb. 13.

Bewölkung $4^{0,1}$ Cu, Frcu. Der Wind wehte wieder aus der gleichen Richtung. Auf dieser Abbildung sind die einzelnen Messungen angegeben. Ähnlich wie am 5. August treten auch hier die gleichen Schwankungen nur nicht ganz so ausgeprägt auf.

## Zusammenfassung.

1. Zu den Messungen der leichten Ionen, die im Zimmer und im Freien ausgeführt wurden, wurde ein in Potsdam gebauter Kondensator in Verbindung mit einem Wulf-Einfadenelektrometer benutzt. Der Kondensator war zur Vermeidung der Randstörungen mit der Swannschen Schutzvorrichtung ausgerüstet. Durch Herausnehmen eines 200 mm langen Mittelstückes war es möglich, mit dem Kondensator unter drei verschiedenen Bedingungen zu messen.
2. Der bereits von S w a n n gefundene Gegenfeldeffekt wurde erneut bestätigt. Durch Messungen wurde gezeigt, daß durch den Einbau der von ihm angegebenen Schutzvorrichtung diese Randstörungen an der Eintrittsstelle der Luft in den Kondensator vermieden werden.
3. Der Anteil mittel- und schwerbeweglicher Ionen bei der Messung der leichten wurde für den benutzten Kondensator rechnerisch bestimmt. Es ergab sich, daß dieser Anteil vom jeweiligen Verhältnis der leichten zu den mittleren und schweren abhängig war.
4. Die Turbulenz im Kondensator wurde untersucht. Es ergab sich bei größer werdender Durchsauggeschwindigkeit ein Anwachsen der Ionenzahlen.
5. Untersuchungen an Charakteristiken ergaben im Bereich der Grenzbeweglichkeiten 0,5 bis 1,4 cm/sec: Volt/cm Abweichungen von einer Geraden, wodurch die leichten Elektrizitätsträger im Ionenspektrum bestätigt wurden.

6. a) Der Mittelwert aller Vormittagsmessungen an ungestörten Tagen ergab für $n_+ = 178$, $n_- = 133$ und $q_n = 1{,}34$.
   b) Der jährliche Gang der leichten Ionen an ungestörten Tagen ließ im Frühjahr und Herbst Maxima, und in den Wintermonaten, wie im Juni und Juli Minima erkennen.
   c) Für den täglichen Gang ergab sich ein Maximum zu Mittag.
   d) Beim Vergleich der Ionenmessungen mit der Sichtweite ergab sich, daß mit größer werdender Sichtweite die Zahl der leichten Ionen anstieg.
   e) Eine Zusammenstellung der Ionenzahlen von ungestörten Tagen mit Luftkörpern zeigte für PM-Luft das Maximum; die Werte für P, C und I-Luft lagen auf gleicher Höhe.
7. Die Untersuchung der Ionenwerte von gestörten Tagen ergab:
   a) Wolkenladungen lassen das Verhältnis $n_+/n_-$ bei Strato-Cumulus-Bewölkung zwischen 0,3 und 3,0 schwanken, bei hohen Werten von $n_+$ und $n_-$. An einzelnen Messungen wurden die schnellen Schwankungen beobachtet. Ähnliche Schwankungen wurden bei Regen und Gewittern gefunden.
   b) Die Zusammenstellung der Messungen an Nebeltagen zeigt ein starkes Abnehmen der Werte mit stärker werdendem Nebel.
   c) Ein Einfluß von mittelstarkem Dunst ($\infty$ 1) auf die leichten Ionen konnte nicht beobachtet werden; dagegen wurde bei starkem Dunst ($\infty$ 2) eine deutliche Zunahme von $q_n$ bei wechselnden Werten von $n_+$ und $n_-$ bemerkt.
   d) Eine erhebliche Störungsquelle machte sich durch umherwirbelnde Früchte von Pflanzen in der Nähe des Meßplatzes bemerkbar, die große und schnelle Schwankungen von $n_+$ und $n_-$ verursachten.

---

Vorliegende Arbeit wurde im luftelektrischen Laboratorium des Meteorologisch-Magnetischen Observatoriums Potsdam ausgeführt. Herrn Professor Dr. K. Kähler sei auch an dieser Stelle für seine Anregung und Hilfe bei der Ausführung der Arbeit bestens gedankt.

# Lebenslauf.

Am 2. Juni 1911 wurde ich, Günter Schultz, als Sohn des Postinspektors Wilhelm Schultz in Berlin-Schöneberg geboren. Von Michaelis 1917 bis Ostern 1930 besuchte ich die Hohenzollern-Oberrealschule in Schöneberg, an der ich auch die Reifeprüfung ablegte. Im Sommer-Semester 1930 begann ich an der Berliner Friedrich-Wilhelms-Universität das Studium der Mathematik, Volkswirtschaft, Meteorologie, Ozeanographie, Physik und Philosophie. Meine Lehrer waren die Professoren: Bartels, L. Bernhard, Bieberbach, Defant, Dersch, Feigel, v. Ficker, Hammerstein, Herkner, Kähler, Knoch, Köhler, v. Mises, Nernst, Prion, Remak, Rieffert, Robitzsch, Erh. Schmidt, F. J. Schmidt, Schur, Sombart, Wehnelt, Wüst.

Seit dem Winter-Semester 1932/33 arbeitete ich im großen Praktikum im Potsdamer Meteorologisch-Magnetischen Oberservatorium bei Herrn Professor Kähler.